

果,合理的进行施工优化,掌握工程建设项目“隐形”成本节约节点。此外,要加强同业主的合同谈判,一方面要让业主同意施工优化原则,另一方面采取总额+变动的合同价格条款,对今后施工过程中变更较小的项目要及时测算工程造价成本,如果在可承受的造价范围之内,为了取得良好的信誉和口碑,可以考虑让渡一些利益,采取“总额”包干,对于业主临时增加较大的工程量,要制定合理的合同条款,采取“变动”的合同价格,确保今后的变更与索赔能够落地。

4.4 培养稳定的分包商

在EPC总承包模式下,建立长期、稳定的分包商有利于提高项目的执行效率和竞争力。总承包商可以优先选择具有专业能力和信誉良好的分包商,并通过长期有效的合作,选定稳定的分包商团队,甚至可以投资分包商,以“小股东”参股的形式深入分包商队伍的管理。如果选用的是项目所在地的分包商,还可以借助其长期驻地的优势,及时掌握市场动态、经济环境、政策等情况,科学制定投标策略,提高报价的合理性及竞争力。

4.5 选择合适的总承包项目团队

在招投标阶段,还要提前谋划好总承包项目团队。要选择合适的总承包项目经理,总承包项目经理不仅要有优秀的硬件条件,例如除了学历、职业资格等条件外,要有重大项目建设的土建、安装等方面的经验,要有很强的现场协调能力,能够协助业主对施工现场的管理,准确传递项目推进信息、反馈关键问题,有效地避免彼此之间的矛盾冲突,全面提升项目设计管理与施工执行的质量效率。总承包项目经理还要能够协调各个分包商管理。同时,团队里还要配备相应的设计、工程管理、安全、财务、造价等专业的人员,能够及时应对工程建设项目现场突发的问题和日常管理,有效处理设计与施工、施工与造价、施工与安排等方面的协作,共同助力项目建设。在人员的选择上,还要考虑人数的控制,除了满足业主的最低要求外,要注意人员投入的时间、批次,最大化的节约造价成本。

4.6 合同审查

在EPC总承包项目的招标阶段,合同审查是项目成功的关键前置环节和核心风险管理措施。此阶段的管理核心在于构建一个系统化、多层次的审查机制。首先,应成立由法

律、商务、技术、造价等专业人员组成的跨部门合同审查小组,确保审查视角的全面性。审查重点应聚焦于几个核心层面:一是合同条款的严谨性与公平性,特别是工作范围、设计标准、性能保证指标、变更与调整机制、风险分担原则以及违约责任等关键条款,必须清晰、无歧义,并与招标文件、投标人澄清承诺形成闭环;二是价格与支付结构的合理性,审查付款节点是否与工程里程碑和成果交付紧密挂钩,以确保现金流健康并有效约束承包商履约;三是针对EPC模式特点,严格审查合同对“设计、采购、施工”三者界面的责任划分,避免范围模糊或责任空白。此外,必须将招标文件、技术规格书、投标方案等所有文件纳入合同包进行一致性审查,确保其构成合同的完整性与统一性。通过这种前瞻性、结构化的合同审查管理,旨在从源头上识别和规避重大合同风险,为后续项目的顺利执行奠定坚实的法律与商务基础。

5 结语

综上所述,EPC总承包项目招投标阶段的风险管控是决定工程建设项目成败的关键,其风险管控水平直接影响项目的最终效益。文章系统识别了市场、设计、文件编制及项目管理四类主要风险,并据此构建了应对措施:通过深入的市场调研与现场踏勘夯实决策基础;制定预留风险缓冲的投标报价与文件策略;强化设计阶段的风险前置控制;培养稳定的分包商资源以保障执行效率;并构建系统化的合同审查机制,从源头上明确权责、锁定风险。

总之,面对国际工程的复杂性,企业必须将招投标阶段视为动态的风险管理窗口,通过建立前瞻性、系统化的管控体系,将风险防范关口前移,方能在全球市场中提升竞争力,实现可持续发展。未来的研究可进一步着眼于风险量化评估模型及智能化管控工具的探索,以推动风险管理迈向更精准、动态的新阶段。

参考文献

- [1] 杜雨,王海明,魏昌智.总承包商视角下EPC总承包工程项目的合同风险管理[J].建筑技术开发,2022,49(21):65-68.
- [2] 朱彦斌,蒋宁.基于EPC总承包模式的工程项目风险识别及应对策略探讨[J].冶金丛刊,2022(005):007.
- [3] 司训练,李颖.国际工程EPC总承包项目风险管理研究综述[J].项目管理技术,2022,20(1):8.

Corrosion Risk Assessment of AC/DC Transmission and Distribution Lines to Natural Gas Pipeline Network in Central China

Yong Liu Longfei Hu Qiang Liao

Huazhong Branch of National Oil and Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 433100, China

Abstract

As a pivotal energy hub in China, the Central China region faces significant challenges from electromagnetic interference (EMI) generated by power transmission and distribution lines. Such interference can compromise the effectiveness of cathodic protection systems in natural gas pipelines, increasing corrosion risks and jeopardizing pipeline safety. This study systematically analyzes the interference mechanisms of AC/DC transmission lines on cathodic protection in natural gas pipelines, based on electromagnetic induction and electrochemical corrosion principles. It clarifies the operational pathways of AC and DC interference. By examining three critical dimensions—transmission line parameters, pipeline installation conditions, and environmental factors—the research identifies key corrosion risk factors. A risk assessment framework is developed, incorporating interference intensity, cathodic protection failure severity, and pipeline vulnerability. The risk evaluation model combines Analytic Hierarchy Process (AHP) with fuzzy comprehensive evaluation. Tailored risk mitigation strategies are proposed for high, medium, and low risk levels, providing technical support for the safe operation and corrosion protection of natural gas pipelines in Central China, thereby ensuring stable energy transmission system performance.

Keywords

AC/DC transmission and distribution lines; natural gas pipeline networks; cathodic protection; corrosion risks; risk assessment

华中地区交直流输配线路对天然气管网阴极保护腐蚀风险评估

刘勇 胡龙飞 廖强

国家石油天然气管网集团有限公司华中分公司, 中国·湖北 武汉 430000

摘要

华中地区作为我国能源枢纽, 输配线路产生的电磁干扰易破坏天然气管网阴极保护系统的有效性, 引发管道腐蚀风险, 威胁管网运行安全。本文基于电磁感应与电化学腐蚀原理, 系统分析交直流输配线路对天然气管网阴极保护的干扰机制, 明确交流干扰与直流干扰的作用路径。从输配线路参数、管网铺设条件、环境因素三个维度, 识别影响腐蚀风险的关键因子, 构建包含干扰强度、阴极保护失效程度、管网脆弱性的风险评估指标体系, 采用层次分析与模糊综合评价相结合的方法建立风险评估模型。针对高、中、低不同风险等级, 提出针对性的风险防控措施, 为华中地区天然气管网的安全运维与腐蚀防护提供技术支撑, 保障能源输送系统的稳定运行。

关键词

交直流输配线路; 天然气管网; 阴极保护; 腐蚀风险; 风险评估

1 引言

华中地区囊括湖北、湖南、河南、江西四省, 是我国中部能源产出、传输与消耗的关键区域。随着电力工业和天然气产业的迅猛发展, 交直流输配线路与天然气管网的建设规模不断拓展。受土地资源制约与规划布局影响, 两类管网在同一区域交叉、并排敷设的状况日趋普遍, 形成复杂的能

源管网交错局面。天然气输配管网普遍采用钢质管道, 阴极保护系统是抑制管道腐蚀、延长使用寿命的关键技术, 通过施加外部电流或牺牲阳极, 使管道表面生成稳定钝化膜, 阻止电化学反应。交直流输配线路在运行期间会产生强电场与强磁场, 通过电磁感应、传导等途径对临近天然气管网造成电磁干扰, 导致管道阴极保护电位偏移, 打破原有腐蚀防护平衡。目前有关输配线路对管道阴极保护的干扰研究大多集中在单一干扰类型或特定区域, 针对华中地区能源管网交织特点的系统性风险评估研究较为欠缺。因此, 开展华中

【作者简介】刘勇 (1988–), 男, 中国湖北荆州人, 本科, 助理工程师, 从事管道保护研究。

地区交直流输配线路对天然气管网阴极保护的腐蚀风险测评,分析干扰机制与关键风险要素,构建科学的评估方法,提出有效的防控手段,对于保障区域能源安全、降低运维成本具有重要的现实意义与工程价值。

2 工程概况

本次评估所涉范围包含华中地区湖北省、湖南省、河南省、江西省核心区域的天然气管网,其涉及的主干管网总长度达1280km,支线管网总长度有860km,管道口径范围为300~1200mm,管壁的厚度介于8~22mm,主要采用的是L360、X80等钢质管材,设计压力为4.0~10.0MPa。

管网沿线总计和32条交流输配线路、16条直流输配线路呈现交叉或者并行敷设状况,全程长度420km,其中与交流输配线路并行距离在50~300m的段落长度为280km,跟直流输配线路并行间距为80~500m的段落长140km;总计有108处交叉点位,其中和高压交流输配线路产生交叉的有65处,和高压直流输配线路有43处交叉,交叉角度跨度为30°~90°;沿线土壤主要类型为粉质黏土、砂壤土,其土壤电阻率处于30~500Ω·m范围,有部分区域的pH值是4.0~6.5,当地气候系亚热带季风气候,年均降水量处于1200~1800mm范围,空气呈现较大湿度,土壤整体的腐蚀程度呈中等偏强态势。

管网当下的阴极保护系统包含着18座强制电流阴极保护站、320组牺牲阳极,经前期监测可知,76处监测点的阴极保护电位偏离了-0.85~-1.2V的最佳保护区间,最大偏移数值为0.62V,23处管道的涂层出现了损坏,存在显著的腐蚀风险隐患。

3 交直流输配线路对天然气管网阴极保护的干扰机制

3.1 交流干扰机制

交流输电线是引发交流干扰的主要源头,其干扰效应主要通过电磁感应与电容耦合两条途径实现。电磁感应是核心干扰形式,交流输电线运行时产生周期性变化的磁场,天然气管网作为闭合导体,在变化磁场中会感应生成感应电流与感应电压。感应电压的大小与输电线电流强度、线路与管道的平行长度、间距及土壤电阻率等因素相关,当感应电压叠加到管道阴极保护电位上时,会导致管道电位偏离最优保

护范围^[1]。

电容耦合干扰多发生在高压交流输电线与天然气管网间距较近的场景,输电线与管道之间形成电容回路,高压电场通过电容耦合使管道表面聚集电荷,造成电位波动。交流输配线路的故障电流(如短路电流)会通过大地传导,使局部土壤电位分布发生变化,形成地电位梯度,导致管道与土壤之间出现电势差,引发电化学腐蚀。交流干扰会降低管道阴极保护系统的极化效果,出现“过保护”或“欠保护”情况,同时可能诱发管道表面电解腐蚀,加速管道损坏。

3.2 直流干扰机制

直流输配线路(如高压直流输电线路、电气化铁路牵引供电线路)对天然气管网的干扰主要通过大地电流传导,即直流杂散电流干扰。直流输配线路运行时,部分电流会通过接地极流入大地,在土壤中形成稳定的电位场,天然气管网与大地构成导电回路,杂散电流会从土壤进入管道,再从管道流出到土壤,形成电流回路^[2]。

当杂散电流进入管道时,管道成为阴极,无腐蚀发生;但当杂散电流从管道流出进入土壤时,管道表面金属原子失去电子发生氧化反应,形成腐蚀电池,造成管道局部腐蚀。直流干扰也会导致管道阴极保护电位正向偏移,使阴极保护系统的有效防护范围缩小,原本受保护的管道区域变为腐蚀敏感区。直流输配线路的极性反转、接地极故障等异常情况,会导致土壤中电场突然变化,进一步加重对天然气管网阴极保护系统的干扰,引发严重腐蚀隐患。

4 腐蚀风险评估指标体系构建

4.1 指标体系构建原则

为全面、准确评估华中地区交直流输配线路对天然气管网阴极保护的腐蚀隐患,指标选择基于电磁干扰与电化学腐蚀原理,体现风险产生的内在规律;涵盖干扰源、保护系统、管网自身及环境等多个层面,搭建完整的风险评估框架;结合华中地区地形、气候、管网布局特征,选定具有区域特殊性的指标;指标定义清晰,数据易获取或通过技术手段监测,便于实际操作^[3]。

4.2 指标体系构成

按照风险评估的核心要素,将腐蚀风险评估指标体系分为目标层、准则层与指标层三个层级,具体如下表1所示。

表1 腐蚀风险评估指标体系及权重表

目标层	准则层 (权重)	指标层	指标 类型	权重	数据获取方式	量化标准
华中地区交直流输配线路对天然气管网阴极保护的腐蚀风险	干扰强度 (0.35)	1. 输配线路与管网平行长度	定量	0.12	现场勘测+图纸核对	> 5km=10分, 3~5km=7分, < 3km=3分
		2. 输配线路与管网间距	定量	0.10	现场勘测	< 100m=10分, 100~300m=6分, > 300m=2分
		3. 输配线路工作电流	定量	0.08	运维记录+在线监测	> 1000A=10分, 500~1000A=7分, < 500A=3分
		4. 土壤电导率	定量	0.05	现场检测	> 100mS/m=10分, 50~100mS/m=6分, < 50mS/m=2分

目标层	准则层 (权重)	指标层	指标类型	权重	数据获取方式	量化标准
华中地区交直流输电线路对天然气管网阴极保护的腐蚀风险	阴极保护失效程度 (0.30)	5. 阴极保护电位偏移幅度	定量	0.15	在线监测	> 0.5V=10 分, 0.2~0.5V=6 分, < 0.2V=2 分
		6. 阴极保护电流密度变动率	定量	0.09	设备运行数据统计	> 20%=10 分, 10%~20%=6 分, < 10%=2 分
		7. 保护系统响应速度	定性	0.06	专家评估 + 设备测试	> 30min=10 分, 10~30min=6 分, < 10min=2 分
	管网脆弱性 (0.35)	8. 管道材质与壁厚	定量	0.07	设计文件 + 现场检测	普通碳钢且壁厚 < 10mm=10 分, 普通碳钢且壁厚 ≥ 10mm=6 分, 合金材质=2 分
		9. 管道运营年限	定量	0.07	运维记录	> 15 年=10 分, 8~15 年=6 分, < 8 年=2 分
		10. 管道涂层完好率	定量	0.08	现场检测 + 无人机巡检	< 85%=10 分, 85%~95%=6 分, > 95%=2 分
		11. 土壤腐蚀性等级	定性	0.07	现场检测 + 专家评定	强腐蚀=10 分, 中等腐蚀=6 分, 弱腐蚀=2 分
		12. 管线铺设地貌复杂度	定性	0.06	现场勘测 + 地图分析	山地 / 丘陵=10 分, 平原 + 少量洼地=6 分, 平坦平原=2 分

4.3 指标权重确定

采用层次分析法 (AHP) 确定各指标权重, 邀请电力工程、管道腐蚀防护、能源管网运维等领域 12 名专家, 采用 1-9 标度法对指标进行两两比较打分, 构建判断矩阵并通过一致性检验 (一致性比例 $CR=0.072 < 0.1$), 最终得到各准则层与指标层权重, 准则层权重分布如下图 1 所示。

5 腐蚀风险评估模型建立

5.1 模糊综合评价模型

考虑到腐蚀风险评估中存在较多模糊性因素 (如“高

干扰强度”“强土壤腐蚀性”) , 采用模糊综合评价法判定风险等级^[4]。将腐蚀风险分为高风险、中风险、低风险三个等级, 明确各等级划分标准 (如下表 2 所示); 根据指标实际监测数据或评估结果, 确定各指标隶属于不同风险等级的隶属度; 将指标权重与模糊关系矩阵相乘, 计算综合隶属度, 依据最大隶属度原则判定风险等级。

5.2 评估流程

腐蚀风险评估的具体流程如下图 2 所示, 流程包括数据采集与监控→指标量化→权重计算与一致性检验→模糊综合评价→风险等级判定→风险成因分析。

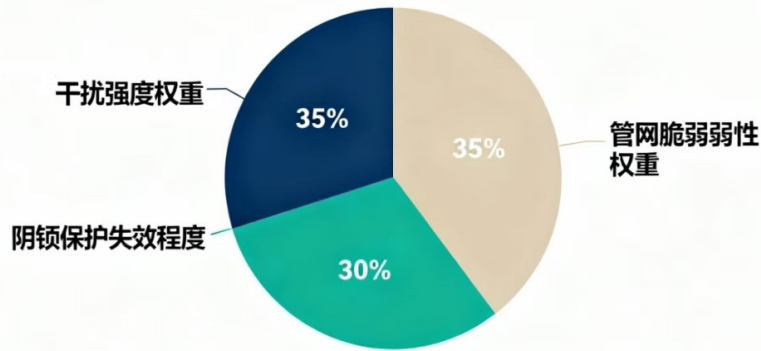


图 1 准则层指标权重分布饼图

表 2 腐蚀风险等级划分标准表

风险等级	干扰强度 (满分 10 分)	阴极保护失效程度 (满分 10 分)	管网脆弱性 (满分 10 分)	综合判定标准 (综合得分)
高风险	≥ 8 分 (满足 ≥ 2 项高强度干扰指标)	≥ 8 分 (电位偏移 ≥ 0.5V 或电流密度变动率 ≥ 20%)	≥ 8 分 (满足 ≥ 3 项高脆弱性指标)	≥ 80 分
中风险	5~7 分 (满足 1 项高强度干扰指标或 ≥ 2 项中等强度指标)	5~7 分 (电位偏移 0.2~0.5V 或电流密度变动率 10%~20%)	5~7 分 (满足 1~2 项高脆弱性指标)	60~79 分
低风险	≤ 4 分 (无高强度干扰指标, 中等强度指标 ≤ 1 项)	≤ 4 分 (电位偏移 < 0.2V 且电流密度变动率 < 10%)	≤ 4 分 (无高脆弱性指标)	< 60 分